

TERMINALE SPÉCIALITÉ • PHYSIQUE-CHIMIE • CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE • CHAPITRE 6



R. RINGUET • 2026 – 2027

Sujet type bac Radioactivité

Deux exercices indépendants : dater les bois d'un village néolithique, un examen TEP au fluor 18

Durée : 1 h 30 • calculatrice autorisée • 2 exercices indépendants • barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute expression littérale est établie avant l'application numérique ; toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire commun : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, $A = \lambda N$,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \bullet \quad \text{écart normalisé : } z = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2}}, \text{ compatibilité admise si } z < 2.$$

Exercice 1 Dater les bois d'un village néolithique

12 pts ●●●

Un chantier de fouilles a mis au jour les restes carbonisés d'une palissade. Le laboratoire de datation doit en établir l'âge par la méthode du carbone 14, puis confronter son résultat à celui de la dendrochronologie, qui date les bois en comptant leurs cernes de croissance.

■ **DONNÉES** $\ln 2 = 0,693$ • numéros atomiques : $Z(\text{C}) = 6$ • $Z(\text{N}) = 7$

■ DOCUMENT 1 — Le carbone 14, une horloge naturelle

Le rayonnement cosmique produit en permanence des neutrons dans la haute atmosphère ; ceux-ci réagissent avec l'azote de l'air selon ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$. Le carbone 14 formé s'oxyde en dioxyde de carbone et se mélange à l'atmosphère, où sa proportion est restée à peu près constante au cours des derniers millénaires. Il est radioactif β^- , de demi-vie de référence $t_{1/2} = 5\,730$ an. Tout organisme vivant échange du carbone avec son milieu : l'activité massique de son carbone vaut alors $a_0 = 0,227 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ de carbone, soit 13,6 désintégrations par minute et par gramme.

■ DOCUMENT 2 — L'étalonnage de la chaîne de mesure

Avant de dater un échantillon inconnu, le laboratoire mesure l'activité massique du carbone de six bois d'âge connu par dendrochronologie.

âge t (an)	0	1000	2000	3000	4000	5000
$a \text{ (Bq}\cdot\text{g}^{-1})$	0,227	0,202	0,177	0,158	0,139	0,125

■ DOCUMENT 3 — L'échantillon à dater

Le laboratoire extrait le carbone d'un fragment de poutre carbonisée et réalise cinq mesures indépendantes de son activité massique, en $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$: 0,0982 • 0,1015 • 0,0994 • 0,1031 • 0,0998. L'écart-type expérimental de cette série vaut $s = 1,92 \times 10^{-3} \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$; l'incertitude-type sur la moyenne de n mesures est $u(a) = s/\sqrt{n}$. La dendrochronologie effectuée sur une autre poutre du même site donne un âge de 6 600 an avec une incertitude-type de 30 an.

Partie A — Le carbone 14 et sa désintégration

- 1.1** Donner la composition du noyau de carbone 14. Vérifier que l'équation de formation du document 1 respecte les deux lois de conservation.
- 1.2** Écrire l'équation de la désintégration du carbone 14. Justifier, en situant ce noyau par rapport à la vallée de stabilité, qu'il soit bien émetteur β^- .
- 1.3** À l'aide de la figure 1, expliquer pourquoi l'activité massique du carbone d'un arbre reste constante tant qu'il est vivant, puis décroît à partir de son abattage.

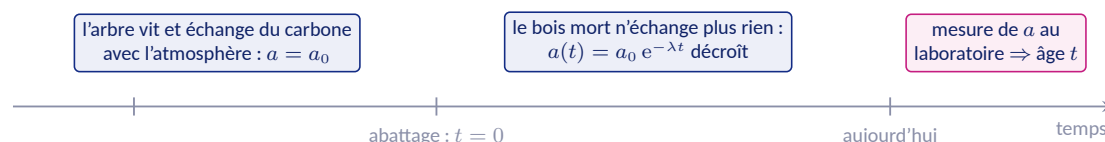
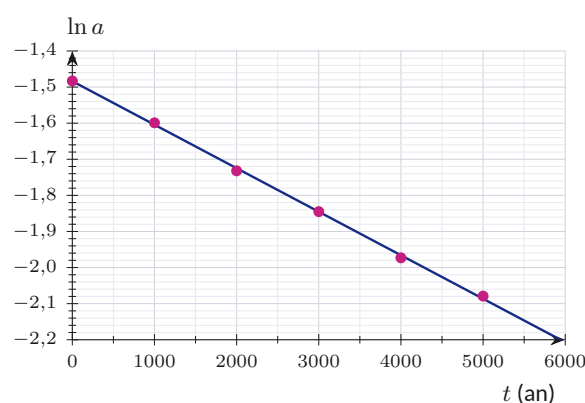


Figure 1 — Principe de la datation au carbone 14

Partie B — L'étalonnage : mesurer la demi-vie du carbone 14

- 1.4** En partant de $dN/dt = -\lambda N$, établir $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, puis montrer que l'activité massique du carbone d'un bois mort depuis la durée t vérifie $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$ et que $\ln a = \ln a_0 - \lambda t$.
- 1.5** Vérifier par le calcul les ordonnées des points de la figure 2 correspondant à $t = 0$ et $t = 5\,000$ an.
- 1.6** Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite de régression, en précisant les deux points utilisés. En déduire λ avec son unité, puis la demi-vie $t_{1/2}$ du carbone 14 obtenue par le laboratoire.
- 1.7** L'incertitude-type associée à cette demi-vie vaut $u(t_{1/2}) = 2,0 \times 10^2$ an. Calculer l'écart normalisé entre la valeur obtenue et la valeur de référence $5\,730$ an, puis conclure sur la fiabilité de la chaîne de mesure.

Figure 2 — Étalonage : $\ln a$ en fonction de l'âge connu t

Partie C — L'âge de la palissade

Dans toute cette partie, on utilisera la valeur de référence $t_{1/2} = 5\,730$ an.

- 1.8** Calculer la valeur moyenne a des cinq mesures du document 3, puis l'incertitude-type $u(a)$ associée.
- 1.9** Montrer que l'âge du bois vérifie $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{a_0}{a}$, puis le calculer.
- 1.10** On admet que $u(t) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \frac{u(a)}{a}$. Calculer $u(t)$ et écrire le résultat de la datation sous la forme $t \pm u(t)$.
- 1.11** Comparer ce résultat à celui de la dendrochronologie à l'aide de l'écart normalisé, puis conclure.
- 1.12** Le programme ci-dessous traite les cinq mesures. Indiquer ce qu'il affiche, en justifiant par les résultats précédents, puis écrire la ligne à ajouter pour qu'il affiche également l'incertitude-type $u(t)$ sur l'âge.

```
1 from math import log
2 a0 = 0.227
3 demi_vie = 5730
4 mesures = [0.0982, 0.1015, 0.0994, 0.1031, 0.0998]
5 a = sum(mesures) / len(mesures)
6 age = demi_vie / log(2) * log(a0 / a)
7 print(round(a, 5), round(age))
```

1.13 Analyse critique. L'incertitude $u(t)$ calculée à la question 1.10 ne tient compte que de la dispersion des mesures. Citer deux autres sources d'incertitude ou d'erreur négligées ici, et indiquer, pour l'une d'elles, dans quel sens elle fausserait l'âge obtenu.

Exercice 2 Un examen TEP au fluor 18

8 pts ●●●

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $\ln 2 = 0,693$ • numéros atomiques : $Z(\text{O}) = 8$ • $Z(\text{F}) = 9$

■ DOCUMENT 4 — La tomographie par émission de positons

Le fluor 18 est produit dans un cyclotron par la réaction $^{18}_8\text{O} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{18}_9\text{F} + {}^1_0\text{n}$, puis incorporé à une molécule de glucose modifié qui se fixe préférentiellement sur les cellules très consommatrices de sucre, notamment tumorales. Le fluor 18 est émetteur β^+ , de demi-vie 110 min. Le positon émis s'annihile aussitôt avec un électron du milieu, ce qui produit deux photons γ de 511 keV partant dans des directions opposées; leur détection *en coïncidence* par une couronne de détecteurs permet de reconstituer l'image. La dose efficace reçue par le patient est de 0,019 mSv par mégabecquerel injecté; la dose moyenne d'origine naturelle en France est de 2,9 mSv par an.

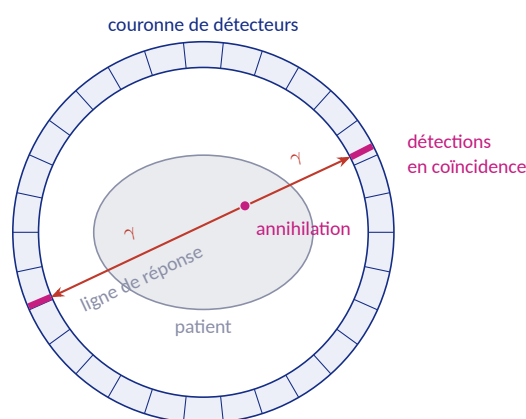


Figure 3 — Principe de la détection en coïncidence dans un examen TEP

- 2.1** Donner la composition du noyau de fluor 18 et vérifier les lois de conservation sur l'équation de production du document 4. Écrire ensuite l'équation de la désintégration du fluor 18.
- 2.2** Calculer la constante radioactive λ du fluor 18, en min^{-1} puis en s^{-1} .
- 2.3** À l'aide de la figure 3, expliquer ce qu'apporte la détection *en coïncidence* des deux photons par rapport à la détection d'un photon isolé, puis justifier qu'un émetteur γ simple ne permettrait pas ce mode de localisation.
- 2.4** Le cyclotron livre à 6 h une solution d'activité 2,0 GBq. Calculer l'activité restante à l'arrivée au service d'imagerie, 90 min plus tard.
- 2.5** L'activité volumique de cette solution vaut $1,50 \text{ GBq} \cdot \text{mL}^{-1}$ à 6 h. Calculer son activité volumique à 9 h, puis le volume à prélever pour injecter au patient une activité de 300 MBq.
- 2.6** Calculer le nombre de noyaux de fluor 18 injectés, puis la masse correspondante ($M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Commenter ce résultat au regard de la quantité de glucose ingérée lors d'un repas.
- 2.7** Calculer la dose efficace reçue par le patient et la comparer à la dose naturelle annuelle. Pourquoi cet examen n'est-il prescrit que lorsque le bénéfice attendu pour le patient l'emporte sur le risque lié à l'exposition ?
- 2.8** Déterminer la durée au bout de laquelle l'activité résiduelle du traceur est inférieure à 1 % de sa valeur initiale. En déduire une consigne à donner au patient à sa sortie du service et la justifier.
- 2.9** Le technétium 99m ($t_{1/2} = 6,0 \text{ h}$) est obtenu dans le service lui-même, à partir d'un générateur contenant du molybdène 99 (demi-vie 66 h) livré une fois par semaine, alors que le fluor 18 doit être produit chaque jour dans un cyclotron situé à quelques heures de route au plus. Justifier cette différence à l'aide des résultats précédents.